

# INVESTIGANDO FATORES ASSOCIADOS A CONTAGENS DE OVOS DE *Aedes Aegypti* COLETADOS EM OVITRAMPAS EM RECIFE/PE.

Wagner Hugo BONAT<sup>1</sup>  
Henrique Silva DALLAZUANNA<sup>2</sup>  
Paulo Justiniano RIBEIRO JR.<sup>3</sup>

## ■ RESUMO:

O *Aedes aegypti* é o vetor da dengue, doença que pode resultar em epidemias. Estudos entomológicos são importantes, pois ajudam a entender a dinâmica de proliferação do mosquito. Este artigo tem como objetivo, identificar fatores associados a contagens de ovos de *Aedes aegypti*, a partir de dados coletados em um experimento de campo conduzido pelo projeto SAUDAVEL, na cidade de Recife/PE. Os principais resultados mostram a preferência do mosquito por residências, onde o abastecimento de água é constante. Um efeito de competição das armadilhas, com recipientes como tanques, caixas d'água e tonéis foi detectado. A partir de covariáveis climáticas foi possível identificar a preferência do vetor por alta precipitação e umidade. As características espaço-temporais do experimento foram levadas em consideração na modelagem, através de funções suaves das coordenadas geográficas das armadilhas e das datas de coleta. Nessa abordagem utilizou-se a metodologia de modelos aditivos generalizados, que permitiu, através do termo espacial, a identificação de áreas onde as contagens de ovos são elevadas. O termo temporal permitiu identificar os meses do ano de maior abundância, além de efeitos sazonais e a tendência da série. ■

**PALAVRAS-CHAVE:** Estudos entomológicos, *Aedes aegypti*, modelos aditivos generalizados, modelos espaço-temporais.

---

<sup>1</sup>Departamento de estatística, Laboratório de estatística e geoinformação, Universidade Federal do Paraná, CEP:81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil, E-mail: [wagner@leg.ufpr.br](mailto:wagner@leg.ufpr.br)

<sup>2</sup>Departamento de estatística, Laboratório de estatística e geoinformação, Universidade Federal do Paraná, CEP:81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil, E-mail: [henrique@leg.ufpr.br](mailto:henrique@leg.ufpr.br)

<sup>3</sup>Departamento de estatística, Laboratório de estatística e geoinformação, Universidade Federal do Paraná, CEP:81531-990, Curitiba, Paraná, Brasil, E-mail: [paulojus@leg.ufpr.br](mailto:paulojus@leg.ufpr.br)

## 1 Introdução

A degradação do meio ambiente e os aspectos sócio-culturais afetam o cenário epidemiológico brasileiro, com impacto na mídia nacional e internacional, em virtude de epidemias de dengue, leptospirose, a recorrência da tuberculose, entre outras. Diante disso, constatou-se a importância de modelar e identificar fatores de risco e proteção, nas situações endêmicas e epidêmicas.

Neste sentido, foi elaborado o Projeto SAUDAVEL<sup>1</sup>, o qual pretende contribuir para aumentar a capacidade do setor de saúde, no controle de doenças transmissíveis. Demonstrando ser necessário desenvolver novos instrumentos para a prática da vigilância entomológica, incorporando aspectos ambientais, identificadores de risco e proteção, além de métodos automáticos e semi-automáticos, que permitam a detecção de surtos e seu acompanhamento no espaço e no tempo (Monteiro *et al.* 2006).

Dentre as inúmeras doenças transmissíveis conhecidas nos dias de hoje, a dengue é uma das mais importantes, e é atualmente um problema de saúde pública. O causador da dengue é um vírus, mas seus transmissores são mosquitos do gênero *Aedes*, popularmente conhecidos como mosquitos da dengue. Nos países de clima tropical, as condições do meio-ambiente favorecem o desenvolvimento e a proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, principal transmissor da dengue nos países latinos (Tauil, 2002).

O *Aedes aegypti*, o mais comum do gênero *Aedes*, é um mosquito domesticado e urbano que se alimenta durante o dia. A transmissão da doença ocorre a partir da picada das fêmeas adultas do mosquito, pois somente elas são hematófagas. De 8 a 10 dias (período de incubação do vírus no mosquito) após ter sugado o sangue de uma pessoa contaminada, a fêmea infectada está apta a transmitir o vírus a indivíduos suscetíveis (Yang e Thomé, 2007).

No Brasil, a partir da década de 1980, iniciou-se um processo de intensa circulação do vírus da dengue, com epidemias explosivas que têm atingido todas as regiões brasileiras (Braga e Valle, 2007). Em vista disso, também a partir desta década, diversas metodologias para a vigilância do vetor vêm sendo desenvolvidas e utilizadas no país.

O monitoramento de fatores de risco biológico, relacionados aos vetores de doenças, tem como finalidade o mapeamento de áreas de risco em determinados territórios. Para tanto, ele se utiliza da vigilância entomológica (presença do vetor, índices de infestação, características biológicas, tais como susceptibilidade aos inseticidas e aos vírus, avaliação da eficácia dos métodos de controle, entre outros), das ações de controle químico, biológico ou físico, e das relações com a vigilância epidemiológica, quanto à incidência e prevalência da doença.

Nos programas de controle de dengue, a vigilância entomológica é feita principalmente a partir da coleta de larvas, de acordo com proposta de Connor e Monroe (1923) para medir a densidade de *Aedes aegypti* em áreas urbanas.

---

<sup>1</sup>Sistema de Apoio Unificado para a Detecção e Acompanhamento em Vigilância Epidemiológica (<http://saudavel.dpi.inpe.br>)

Esta metodologia, consiste em vistoriar os depósitos de água e outros recipientes localizados nas residências e demais imóveis, como borracharias, ferros-velhos, cemitérios, entre outros tipos de imóveis considerados estratégicos, por produzirem grande quantidade de mosquitos adultos. Para o cálculo dos índices de infestação predial (IIP) e de Breteau (IB), para mais detalhes ver FUNASA (2001) e OPS (1995).

Segundo Braga e Valle (2007) a coleta de larvas (ou pesquisa larvária, como é comumente chamada no Brasil) é importante para verificar o impacto das estratégias básicas de controle da doença, dirigidas a eliminação das larvas do vetor. Entretanto, não é um bom indicador para se medir a abundância do adulto, e ineficaz para estimar o risco de transmissão. Embora venha sendo usada com essa finalidade, como mostram as referências das próprias autoras, ver Nelson (1995) e Focks (2000).

Outra metodologia adotada é a coleta de mosquitos adultos, cuja operacionalização para a estimativa do risco de transmissão é custosa e demorada. Ainda segundo Braga e Valle (2007), a correlação entre o número de vetores coletados (mosquitos adultos) e o número de humanos na área de coleta, que poderia fornecer o número de vetores adultos por pessoa, não é suficiente para quantificar o risco. Contudo, essa correlação se aproxima mais da realidade que os índices larvários, ver Focks (2000).

Apesar disso, para avaliar a densidade do vetor instalam-se armadilhas de oviposição e armadilhas para coleta de larvas, que visam estimar a atividade de postura. A armadilha de oviposição, também conhecida no Brasil como 'ovitampa', é destinada à coleta de ovos. Em um recipiente de cor escura, adere-se um material áspero que permite a fixação dos ovos depositados. Em 1965, iniciou-se o uso de ovitampas para a vigilância das populações adultas de *Aedes aegypti* (Fay e Eliason, 1965). Posteriormente, ficou demonstrada a superioridade dessas armadilhas em relação a pesquisa larvária, para a verificação da ocorrência do vetor (Fay e Eliason, 1966).

As ovitampas fornecem dados úteis sobre a distribuição espacial e temporal (sazonal). Dados obtidos com essa metodologia também são usados para verificar o impacto de vários tipos de medidas de controle, que envolvem a redução do vetor com inseticidas. Segundo Braga e Valle (2007) embora as ovitampas sejam muito úteis para a verificação da presença e distribuição de fêmeas do vetor, não devem ser usadas como ferramenta única para a estimativa do risco de dengue. O presente estudo baseia-se em dados de contagem de ovos coletados em ovitampas, conforme descrito em mais detalhes na Seção 2.

Diversas medidas para medir a infestação de *Aedes aegypti* em uma determinada área já foram propostas na literatura, a maioria tendo como base o uso de ovitampas para capturar formas imaturas do mosquito. Em geral, a classe imatura é dividida pelos ecologistas em três níveis: ovo, larva e pupa. Na mensuração da densidade vetorial, cada método tem sua particularidade mas todos lançam mão de amostras, nem sempre representativas, da população estudada. Um estudo bastante completo sobre medidas dos níveis de infestação urbana para *Aedes*

é encontrado em Gomes (2002).

Apesar do uso intenso de ovitrampas em estudos entomológicos, poucos foram os trabalhos encontrados que buscam relacionar a ocorrência das formas imaturas, com fatores relacionados a própria condição da armadilha, como presença de recipientes potenciais para o armazenamento de água, como tanques, caixa d'água, cisternas, além de fatores amplamente preconizados, como vasos de plantas, presença de pneus entre outros.

O trabalho de Santos (1999) estudou fatores associados à ocorrência de formas imaturas de *Aedes aegypti* na Ilha do Governador, no estado do Rio de Janeiro. Contudo, em um contexto diferente, sem o uso de ovitrampas e um delineamento amostral propriamente dito. O estudo foi realizado a partir dos dados da Fundação Nacional de Saúde (FNS). Os principais resultados obtidos pelo autor mostram que 58,04% dos criadores inspecionados foram constituídos por suportes para vasos com plantas, vasilhames de plástico ou vidro abandonados no peridomicílio. Maiores percentuais de criadouros positivos foram observados para pneus (1,41%), tanques, poços e cisternas (0,93%), e barris, toneis e tinhas (0,64%). Maiores percentuais de criadouros positivos durante o verão foram encontrados em grandes reservatórios de água, e a dos criadouros provenientes do lixo doméstico. No inverno foi verificado maior ocorrência em pequenos reservatórios de água para o uso doméstico. O autor também utilizou um modelo fatorial que mostrou como fator principal para determinar a ocorrência de fases imaturas de *Aedes aegypti*, como sendo aquele que leva em consideração os fatores climáticos, as medidas utilizadas foram a média da pressão atmosférica, a temperatura máxima, temperatura mínima e a umidade relativa do ar.

O trabalho de Ferreira e Chiaravalloti (2007) buscou associar os índices de infestação larvária por *Aedes aegypti* com fatores socioeconômicos, em São José do Rio Preto, São Paulo. Os autores agruparam os setores censitários urbanos da cidade em 4 grupos segundo variáveis socioeconômicas, utilizando análise de componentes principais, e um quinto agrupamento com nível socioeconômico inferior aos demais não pertencente aos setores censitários urbanos. Calcularam, para cada área, os índices de Breteal (IB), predial (IP), de recipientes (IR), e as médias de recipientes existentes e pesquisados por casa. Os valores dos índices de infestação não apresentaram diferenças significativas entre as áreas socioeconômicas 1 a 4, mais foram menores que para a quinta área. Os índices larvários não mostraram associação com os diferentes níveis socioeconômicos, da área correspondente aos setores censitários urbanos, porém os loteamentos da área 5 apresentaram os maiores valores desses indicadores.

Em estudo sobre a variação sazonal de *Aedes aegypti* Serpa *et al.* (2007), em Potin, São Paulo. Verificou que os meses de julho, novembro e dezembro foram os de menor abundância do mosquito, também detectou a existência de relação significativa da ocorrência de formas imaturas com a temperatura máxima, porém não encontrou relação com as variáveis climáticas, temperatura mínima, pluviosidade e umidade relativa do ar.

Atualmente, o cenário epidemiológico brasileiro, reforça que estudos

entomológicos devem ser feitos para buscar um melhor entendimento, sobre os fatores que influenciam no comportamento reprodutivo do vetor. Indicando assim, fatores de risco e proteção para se evitar a proliferação do vetor e consequente queda nos indicadores de incidência e prevalência de doenças como a dengue.

Neste sentido, o objetivo deste artigo é determinar fatores de risco e proteção associados à ocorrência de ovos do mosquito *Aedes aegypti*, com base em dados de um experimento conduzido pelo "Projeto SAUDAVEL" na cidade de Recife/PE. Entende-se aqui, como fatores de risco/proteção tanto covariáveis associadas à armadilha, como presença de recipientes grandes ou pequenos que possam conter água em suas proximidades, como também aspectos abióticos (climáticos) como temperatura, precipitação e umidade. Além de possíveis relações espaciais entre as armadilhas e também a possibilidade de uma relação temporal entre as coletas. Busca-se um modelo que leve em consideração a complexidade do ambiente em que o experimento foi desenvolvido, e que possa ser usado tanto para entender a dinâmica de proliferação do mosquito, mostrando suas preferências para a reprodução, como também, um modelo preditivo buscando evitar surtos entomológicos nas áreas em estudo.

Padrões espaciais eventualmente detectados pelo modelo podem destacar zonas de persistência de alta infestação. Os padrões temporais, podem auxiliar na compreensão da dinâmica temporal da população de mosquitos. Efeitos dos fatores do ambiente local dos pontos de coleta são avaliados, buscando-se aqueles que apresentam relação com as contagens de ovos. Buscou-se ainda, detectar condições climáticas refletidas em dados de temperatura e umidade em períodos que antecedem as coletas, que possam criar condições ideais para o aumento na contagem de ovos, bem como, a determinação de tais períodos de defasagens relevantes.

Pretende-se que a metodologia de análise proposta neste artigo seja implementada em um pacote para a vigilância de populações de *Aedes aegypti*, o pacote **RDengue** (Bonat, Dallazuana e Ribeiro Jr, 2008), do software **R** (R Development Core Team, 2009), este pacote faz parte de uma rede interinstitucional para criar um sistema de vigilância entomológica baseada em uma estrutura de software livre para o controle participativo da Dengue, (Regis, *et al.* 2009).

O presente artigo está dividido em cinco seções, esta primeira enfatiza a condição epidemiológica e entomológica dando uma visão ampla da situação brasileira, citando vários artigos que tratam sobre o mesmo assunto, e também apresenta os objetivos gerais do trabalho. A Seção dois visa descrever em detalhes o delineamento e forma de condução do experimento, descreve as variáveis utilizadas para a construção dos modelos, e sua forma de mensuração pela equipe de campo.

A Seção três traz um breve resumo sobre as metodologias estatísticas utilizadas, dando ênfase aos modelos aditivos generalizados. A Seção quatro traz os principais resultados da aplicação do modelo estatístico. A quinta e última seção traz uma breve discussão sobre os resultados, as principais conclusões e limitações do estudo, e aponta algumas possibilidades para investigações futuras.

## 2 Contexto e material

Nesta seção serão descritos o experimento, métodos de coleta de dados e a construção das covariáveis que serão utilizadas, posteriormente na composição dos modelos estatísticos.

### 2.1 Área de estudo, Instrumentos e Técnicas de Campo

O experimento está sendo desenvolvido na cidade de Recife/PE, onde foram criteriosamente instaladas 564 armadilhas (ovitrampas) para o mosquito *Aedes aegypti*, cuja a fêmea é o principal vetor da dengue. Estas armadilhas começaram a ser monitoradas em março de 2004.

A cada sete dias é feita a contagem de ovos encontrados em cerca de um quarto das armadilhas. Assim, em um ciclo de 28 dias, todas as armadilhas são monitoradas. A rede de armadilhas foi instalada de modo a cobrir toda a extensão do bairro, caracterizando bem o tipo de delineamento utilizado, para a coleta de dados. O experimento está sendo realizado em 6 dos 94 bairros da cidade de Recife. Para o presente artigo, selecionou-se o bairro Brasília Teimosa, por este apresentar uma quantidade expressiva de observações e não ter sofrido nenhum tipo de intervenção, por parte da agência de saúde local. A coleta de dados neste bairro teve início em 04/01/2005 e até 15/05/2007 período para o qual os dados já estão disponíveis, foram realizadas 2580 observações em 80 armadilhas no período correspondente a 124 semanas.

Cada armadilha contém uma lâmina (material áspero) na qual a fêmea do mosquito coloca os ovos, essas lâminas são recolhidas e a contagem dos ovos é feita em laboratório especializado. Os serviços de saúde locais e o laboratório de Entomologia são os coordenadores operacionais e logísticos, e responsáveis pela realização do experimento (Monteiro *et al.* 2006). Estes serviços também coletaram informações sobre as características dos locais das armadilhas que serão utilizadas nas análises.

O artigo de Regis *et al.*, 2008 descreve de forma ampla o experimento SAUDAVEL/Recife, bem como todo o escopo do projeto que visa desenvolver metodologias e tecnologias para o monitoramento de populações de *Aedes aegypti* através de contagens de ovos coletados em ovitrampas.

### 2.2 Construção das covariáveis

O banco de dados do SAUDAVEL Recife, proporcionou a construção de diversas covariáveis, a serem utilizadas nos modelos para a contagem de ovos. A seguir, será descrita a forma de construção e os agrupamentos realizados para que as covariáveis pudessem, ter uma interpretação prática, bem como a possibilidade de comparação dentro de um modelo estatístico.

O conjunto de covariáveis ainda foi dividido em dois grupos, o primeiro das covariáveis 'locais' referentes à armadilha e o segundo de covariáveis 'ambientais' referentes a fatores abióticos, representados por variáveis climáticas. Uma atenção

especial será dada a esta seção, pois a construção das covariáveis se deu tal qual o banco de dados foi construído, e a forma que as covariáveis são incluídas no modelo é de fundamental importância para as interpretações, alvo principal deste artigo.

### 2.2.1 Covariáveis da armadilha (locais)

Tabela - 1: Relação de covariáveis locais.

Covariáveis	Níveis	Descrição
Tipo de imóvel	0	Residencial
	1	Não residencial
Quintal	0	Apresenta quintal
	1	Não apresenta quintal
Água ligada a rede geral	0	Ligada
	1	Não ligada
Abastecimento de Água	0	Diário
	1	Não diário
Água canalizada no cômodo	0	Canalizada
	1	Não canalizada
Fatores de risco	0	Apresenta
	1	Não apresenta
Recipientes grandes sem tampa	0	Apresenta
	1	Não apresenta
Recipientes grandes com tampa	0	Apresenta
	1	Não apresenta
Recipientes pequenos sem tampa	0	Apresenta
	1	Não apresenta
Recipientes pequenos com tampa	0	Apresenta
	1	Não apresenta

São considerados fatores de risco, plantas em vasos, charco/poça, garrafas, fossa externa, piscina, poço elevador, laje sem telhado ou calhas. Na categoria de recipientes grandes são considerados, tanques, caixa d'água ou toneis. Na categoria de recipientes pequenos são considerados, jarros de barro ou baldes. Uma outra covariável não elencada na tabela, mais que também foi levada em consideração na análise é denominada de **Grupos**. Esta covariável corresponde a semana em que a armadilha é monitorada, como as coletas são realizadas semanalmente é feita em grupos de armadilhas, cada grupo tem aproximadamente um quarto das armadilhas colocadas no bairro.

### 2.2.2 Covariáveis climáticas

As covariáveis climáticas disponíveis no banco de dados e utilizadas nas análises foram, precipitação, umidade relativa do ar, temperatura máxima e mínima.

A mensuração destas covariáveis é feita diariamente para cada um dos bairros em análise por cinco estações de monitoramento. Portanto, para fins de modelagem estatística, são necessárias decisões e manipulações destes dados, para serem relacionados com os de coleta de ovos, realizadas semanalmente.

As observações foram agrupadas mensalmente, sendo que para as covariáveis precipitação e umidade relativa do ar, foi tirada a média mensal, para as variáveis temperatura máxima foi utilizada a maior temperatura do mês, e para a temperatura mínima a menor temperatura do mês. Após isto, foram contabilizadas todas as covariáveis com uma defasagem de até três meses da observação.

### 3 Modelos para dados de contagens

O modelo log-linear Poisson é sem dúvida o modelo mais utilizado quando se trata de dados de contagem. Porém, em alguns casos pode ocorrer o fenômeno da superdispersão, refletindo o fato de que a variância nas observações não reflete as propriedades do modelo de Poisson, sendo em geral maior do que a predita pelo modelo. Nesses casos, a suposição de distribuição de Poisson para a resposta é inadequada, sendo necessário o uso de modelos alternativos. Neste trabalho foi utilizada uma abordagem assumindo a variável resposta como tendo distribuição Binomial Negativa. Pode ser demonstrado, que a Binomial Negativa é o modelo Poisson acrescido de um efeito aleatório com distribuição Gama, ver Paula(2004). Uma causa provável da superdispersão é a heterogeneidade das unidades amostrais, que pode ser devido a variabilidades inter-unidades experimentais. Este fato, foi detectado no caso dos dados do experimento SAUDAVEL/Recife onde as unidades experimentais, dadas pelas armadilhas, são notadamente diferentes umas das outras.

Supondo que  $Y_1, \dots, Y_n$  são variáveis independentes de modo que  $Y_i \sim BN(\mu_i, \phi)$ , em que  $E(Y_i) = \mu_i$  e  $Var(Y_i) = \mu_i + \frac{\mu_i^2}{\phi}$  e parte sistemática dada por  $g(\mu_i) = x_i^T \beta$  em que  $g(\cdot)$  é uma função de ligação. Definindo  $\theta = (\beta, \phi)^T$  o logaritmo da função de verossimilhança fica dado por

$$L(\theta) = \sum_{i=1}^n \left[ \log \left\{ \frac{\Gamma(\phi + y_i)}{\Gamma(y_i + 1)\Gamma(\phi)} \right\} + \phi \log \phi + y_i \log y_i - (\phi + y_i) \log(\mu_i + \phi) \right]$$

em que  $\mu_i = \exp(x_i^T \beta)$ . As estimativas de máxima verossimilhança podem ser obtidas através de algoritmos iterativos, como o método de Newton-Raphson. Para maiores detalhes sobre procedimentos e algoritmos de estimação ver Paula (2004).

O modelo descrito, apesar de muito utilizado, tem uma restrição quanto ao relacionamento da variável resposta com as covariáveis, assumindo que tal relacionamento seja linear na escala da função de ligação, o que em diversas situações não reflete a realidade. Em particular, no caso do presente estudo onde deseja-se incluir efeitos espaciais através das coordenadas geográficas das armadilhas, de uma forma flexível que descreva tal relação. É então necessária, uma extensão do modelo anterior que comporte a inclusão de uma ou mais covariáveis sem assumir a priori



que o relacionamento com a resposta seja linear, na escala da função de ligação utilizada.

Uma das possíveis abordagens é o modelo aditivo generalizado, (Hastie e Tibishirani, 1990) que pode ser descrito como uma extensão do modelo linear generalizado (McCullagh e Nelder, 1983), porém com um ou mais preditores lineares envolvendo a soma de funções suaves (*smooth functions*) das covariáveis. O modelo torna-se semi-paramétrico e pode ser escrito da seguinte forma:

$$g(\mu_i) = X_i^* \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}, x_{4i}) + \dots \quad (1)$$

onde

$$\mu_i \equiv E(Y_i)$$

$X_i^*$  é uma linha da matriz do modelo, para a parte estritamente paramétrica,  $\theta$  é o vetor de parâmetros correspondentes e as  $f_j$  são funções suaves das covariáveis  $x_k$ .

As funções suaves, podem ter mais de uma covariável como argumento, conforme ilustrado por  $f_3$  nessa expressão. O modelo definido desta forma, proporciona flexibilidade na especificação da forma da relação entre a variável resposta e as covariáveis. Casos particulares, como a especificação do modelo apenas em termos de funções suaves também são possíveis. Entretanto, a flexibilidade de tais modelos vem acompanhada de dois novos problemas teóricos: como representar as funções suaves e como estimar os parâmetros envolvidos neste modelo.

O problema de como representar a função suave univariada, pode ser resolvido usando uma *spline*. Uma *spline* cúbica, é uma curva composta por seções de polinomiais cúbicas, juntas de modo que componham uma função contínua que permita primeira e segunda derivada.

Uma segunda opção de função *spline* para o caso de mais de uma covariável é a *thin plate*. Segundo Wood, 2006 a *thin plate* é uma solução elegante e geral para o problema de estimar uma função suave de variáveis preditoras múltiplas. Wahba, 2000 mostra que a *thin plate splines* é uma generalização natural da *spline* polinomial univariada, para duas ou mais dimensões.

A dificuldade com *thin plate splines* é o custo computacional, dado que estes suavizadores têm tantos parâmetros desconhecidos quanto dados (estritamente, número de combinações únicas do preditor). Exceto no caso do preditor simples, o custo computacional da estimação do modelo é proporcional ao cubo do número de parâmetros.

Apesar disto, neste trabalho ele foi preferido e amplamente usado. Uma de suas principais características é a isotropia da penalidade das ondulações, onde tais ondulações são em todas as direções igualmente tratadas, com o ajuste inteiramente invariante para a rotação do sistema de coordenadas das covariáveis preditoras. Segundo Wood, 2006, pg.228 a *thin plate splines* é adequada para suavizar interações entre variáveis medidas na mesma unidade, como coordenadas geográficas, onde a isotropia é assumida como adequada. Uma vez escolhida a base de *spline* o ajuste do modelo segue por uma variação do Métodos de Mínimos Quadrados, denominada de PIRLS - Mínimos quadrados ponderados iterativos, intervalos de confiança para as funções suaves podem ser derivados usando métodos Bayesianos, para detalhes

ver Wood, 2006. Todos os procedimentos necessários para o ajuste desta classe de modelos, estão implementados no pacote *mgcv* (Wood, 2008), o qual foi utilizado neste trabalho.

## 4 Resultados

Nesta seção será feita a apresentação dos principais resultados encontrados na análise. Inicia-se a seção com uma análise descritiva, tanto para as covariáveis locais, quanto para as climáticas, posteriormente é apresentado o ajuste do modelo.

### 4.1 Análise exploratória

As condições ligadas às armadilhas são de papel fundamental pois são elas que orientam as políticas de prevenção e propagação do vetor através de campanhas educacionais, promovidas a fim de evitar criadouros do mosquito. Assim, a identificação das características realmente significativas é de fundamental importância para orientar as ações de tais campanhas. O conjunto de doze gráficos da figura 1 faz uma comparação das contagens de ovos (em escala logarítmica) entre as categorias de cada uma das doze covariáveis consideradas na análise. Vale lembrar que a descrição de cada covariável se encontra na seção 2.

A análise destes gráficos permite identificar, de forma exploratória, os fatores que mais afetam as contagens de ovos, orientando a seleção e a escolha de modelos, antecipando e explicando possíveis resultados da modelagem.

Para o caso das covariáveis climáticas, a análise exploratória será feita através de diagramas de dispersão. Porém, um simples diagrama entre a covariável e as contagens seria pouco informativo, já que, se sabe ter outros fatores intervindo no comportamento da variável resposta. Sendo assim, optou-se por controlar os efeitos espaciais e temporais através de funções suaves (*splines*) e colocar cada uma das covariáveis dentro de um modelo aditivo generalizado, assumindo a distribuição Binomial Negativa para os dados, e avaliar o comportamento da covariável na presença de efeitos espaciais e temporais, de forma ainda mais geral também foi permitido a covariável 'dizer' qual o relacionamento dela com a resposta, atribuindo um termo suave, o que permite também inferir sobre a forma do relacionamento da covariável com a resposta. O conjunto de doze gráficos na figura 2 traz esta análise para cada uma das doze covariáveis climáticas consideradas na análise.

De forma geral, pode-se dizer que para as doze covariáveis em análise supor um relacionamento linear com a resposta é possível. Também é possível observar que com o aumento da precipitação e da umidade o número de ovos aumenta, já com, o aumento da temperatura (máxima ou mínima) a tendência do número de ovos é diminuir.

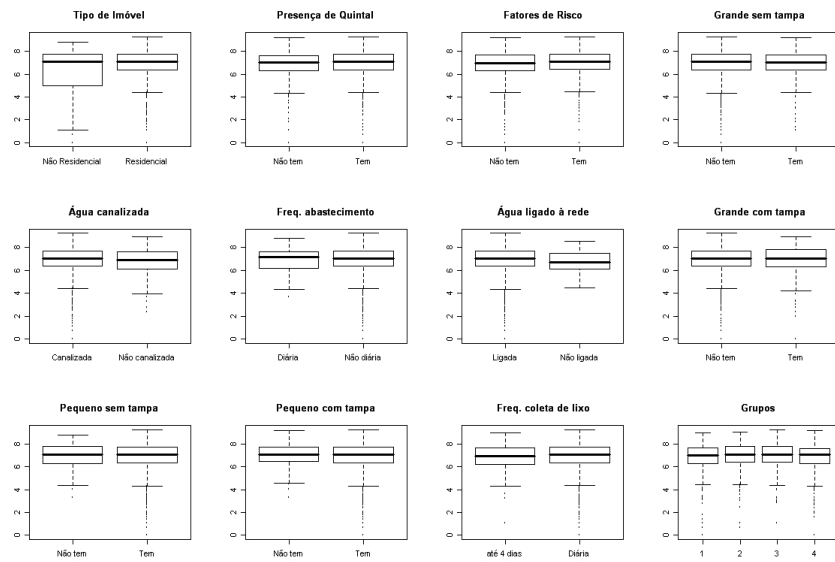


Figura - 1: Boxplots da contagem de ovos por categorias para cada covariável, bairro Brasília Teimosa Recife/PE.

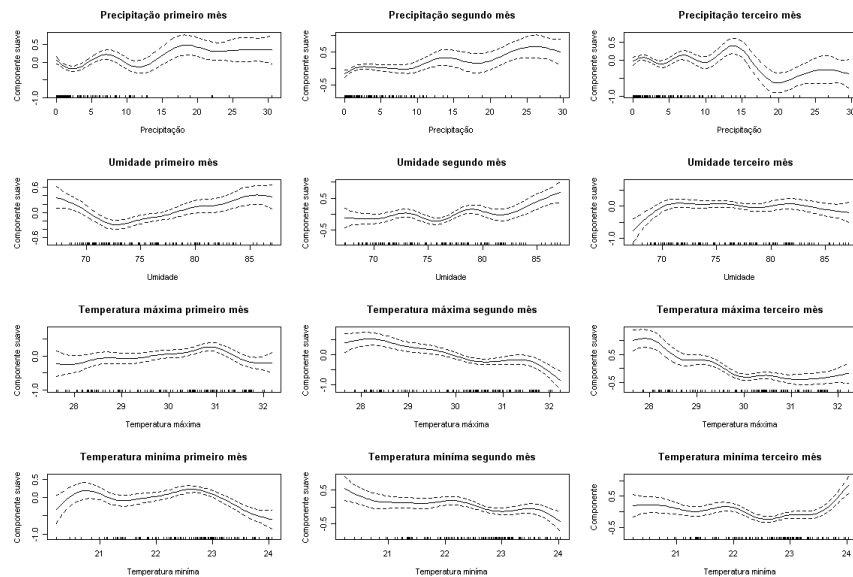


Figura - 2: Diagramas de dispersão.

## 4.2 Aplicação do modelo estatístico

Para determinar quais são os fatores de risco e proteção para a ocorrência de ovos do mosquito *Aedes aegypti* foi utilizado o modelo aditivo generalizado. A distribuição de probabilidade assumida para a variável resposta foi a binomial negativa com função de ligação logarítmica, as funções suaves foram representadas usando *Thin Plate Splines*.

O resultado do ajuste do Modelo Aditivo Generalizado, para o bairro Brasília Teimosa é apresentado na tabela 2.

Tabela - 2: Ajuste do Modelo Aditivo Generalizado para o bairro Brasília Teimosa.

Covariáveis	Estimativas	Erro Padrão	Valor t	p-valor
Intercepto	5.054	0.820	6.011	< 0.0001
PREC.MES1	0.028	0.005	5.295	< 0.0001
PREC.MES2	0.028	0.005	5.290	< 0.0001
UMID.MES3	0.026	0.010	2.529	0.011
Canalizada	-0.259	0.061	-4.1806	< 0.0001
Grande sem tampa	-0.120	0.0484	2.494	0.012
Suavização	Edf	Rank	F	p-valor
Coordenadas	26.26	29	10.38	< 0.0001
Tempo	8.81	9	24.39	< 0.0001

De acordo com o modelo ajustado, tem-se que a covariável precipitação ( 1 e 2 ) é considerado um fator de risco, já que, ao se aumentar a precipitação no mês da observação em uma unidade espera-se em média um aumento nas contagens de ovos de 2.83%(1.83% – 3.85%), o mesmo aumento se espera para a precipitação no mês anterior ao da observação. Para a covariável umidade, também considerada como fator de risco, ao se aumentar uma unidade na umidade média mensal de dois meses antes da observação, espera-se um aumento médio de 2.63%(0.64% – 4.66%).

A preferência do mosquito por residências onde a canalização de água está presente em pelo menos um cômodo, fica evidente pela significância desta covariável no modelo. Pode-se observar, que onde a localização da armadilha apresenta canalização de água em pelo menos um cômodo, tem em média 29.56%(14.96% – 46.01%) mais ovos, quando comparada as localizações que não apresentam esta canalização.

Um resultado intrigante é o fato da presença de recipientes grandes sem tampa ser considerado fator de proteção, o modelo mostra que nas localizações de armadilhas onde se encontra este tipo de recipiente as contagens são em média 12.74%(2.54% – 23.96%) menores que nas localizações onde não se encontra. Tal resultado é corroborado, por exemplo, quando se tira uma média simples do número de ovos, em cada categoria desta covariável. Para as armadilhas onde se encontram recipientes grandes sem tampa a contagem média de ovos é de 1595.26, já para onde não tem tais recipientes a contagem média é de 1639.92. Este resultado sugere que existe um efeito de competição das armadilhas com estes recipientes, ou seja, na

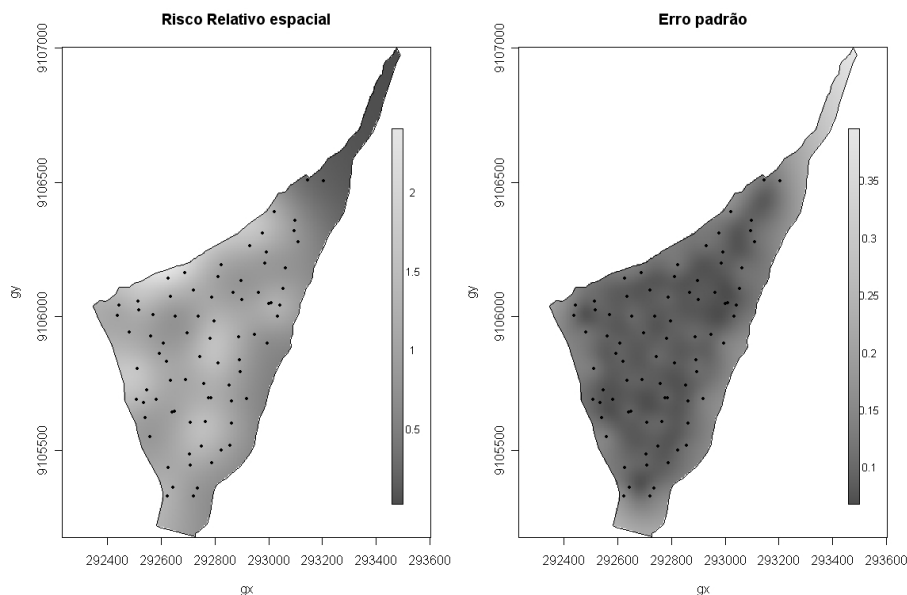


Figura - 3: Efeito espacial e incerteza associada.

presença destes recipientes os mosquitos apresentam uma certa preferência por eles.

Os efeitos espaciais e temporais estão sendo controlados por funções suaves, que mostram-se altamente significativas. Para verificar as localizações do espaço onde a contagem é mais elevada a figura 3 traz um mapa apenas do efeito espacial, para o bairro Brasília Teimosa, considerando o tempo um passo a frente da última observação, ou seja, é uma previsão um passo a frente apenas do efeito espacial. Como este efeito não tem uma escala de valores de fácil interpretação, foi calculado um risco relativo, sob a hipótese de homogeneidade espacial. Isto, consiste em tirar a média de todas as predições, considerando que a área é homogênea, depois dividir cada uma das predições pela média geral, dando uma idéia de risco relativo a média geral, assim se uma observação está próxima da média ela apresentará neste mapa, um valor próximo da unidade. Se ela for maior que a média apresentará valores maior que a unidade, e se for menor que a média apresentará valores menores do que a unidade. Também traz um mapa da incerteza associada a cada predição, através de um mapa do erro padrão de cada medida predita.

De acordo com o mapa de risco relativo espacial, é possível identificar algumas áreas com risco relativo próximo de dois, mostrando que essas áreas tem o dobro de contagens do que a média geral da área, sendo, portanto áreas de alta infestação de mosquito, e que devem receber maior atenção pelas agências de saúde locais. Com relação ao mapa de erro padrão, o que fica evidente é que em localizações onde existem poucas observações, a incerteza aumenta consideravelmente, por

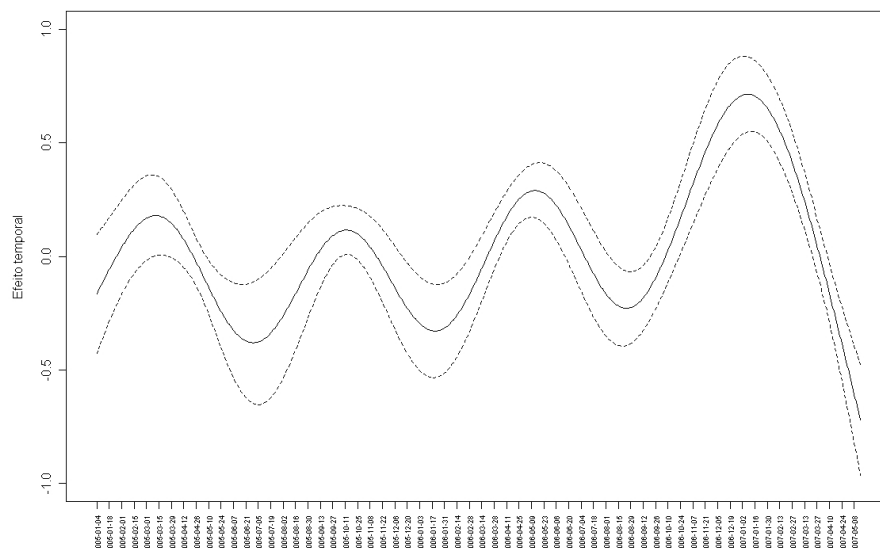


Figura - 4: Efeito temporal.

exemplo, a borda superior do mapa de erro padrão, apresenta um erro padrão de aproximadamente 0.35, enquanto que onde foram feitas as observações o erro padrão varia entre 0.1 e 0.2.

Para explorar o efeito temporal, foi feita a previsão diária desde a primeira observação em 04/01/2005 até a última 15/05/2007, totalizando 862 dias. A predição é mostrada na figura 4, apenas para o efeito temporal.

Pela figura 4 verifica-se claramente quatro grandes picos, durante o período analisado. O primeiro ocorre entre os meses de março e abril de 2005, o segundo novamente em 2005 entre os meses de setembro e outubro. O terceiro ocorre entre abril e maio de 2006, e o último e maior pico ocorre entre os meses de novembro de 2006 e fevereiro de 2007. Os picos ocorrem em geral em meses mais quentes, aparentemente no início e término do verão, o que da pra ver claramente é que os meses de frio são os meses de menor ocorrência de ovos, como era de se esperar.

Da mesma forma, que os modelos lineares generalizados, tem uma série de pressupostos, o modelo aditivo também tem, sendo assim, a análise de pressupostos foi realizada através de técnicas gráficas baseadas nos resíduos do modelo, em geral espera-se que se o modelo é adequado, os resíduos tenham distribuição Normal de média 0, sejam independentes e homocedásticos (variância constante). O conjunto de quatro gráficos apresentados na figura 5 resume esta situação.

Os gráficos mostram que nenhum dos pressupostos está sendo violado. Pelo gráfico Normal de Probabilidade e o histograma dos resíduos, pode-se ver uma calda

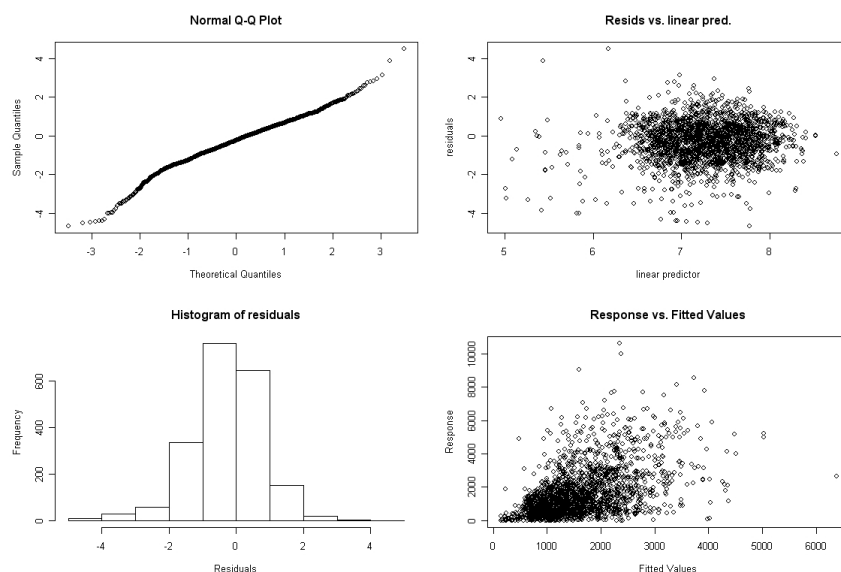


Figura - 5: Análise de resíduos.

levemente mais pesada do que a esperada pela Normal, este fato é devido ao grande número de observações iguais a zero, indicando que um número maior de zeros do que o esperado por uma distribuição Binomial Negativa foi observado, porém este fato não alterou as estimativas do modelo. Mas é um indicativo que a atribuição para a resposta de uma distribuição Binomial Negativa ou Poisson inflacionada de zeros, pode ser mais adequada do que a considerada neste trabalho.

Com respeito a valores discrepantes ou aberrantes que poderiam ser eventuais pontos influentes ou de alavancagem, não se encontrou nenhum. Pode-se então concluir que o modelo proposto é adequado.

## Discussão e recomendações

A determinação de fatores associados à ocorrência de ovos de *Aedes aegypti*, é um processo delicado, que envolve conhecimentos em modelagem estatística e também, aspectos ligados ao comportamento biológico do mosquito. O uso de modelos estatísticos permite uma visão mais clara dos fatores relevantes por combinar as diversas covariáveis auxiliando na determinação precisa sobre as condições ambientais favoráveis ao aumento de contagens de ovos.

A análise da associação com fatores climáticos é uma tarefa difícil, já que, não se sabe a priori quais seriam as defasagens no tempo entre a data da coleta dos ovos e as condições climáticas que apresentam maior associação com tais contagens.

Com relação aos fatores climáticos os resultados mostraram que as condições de precipitação e umidade são de extrema importância para a reprodução do mosquito, sendo que, este tem preferência por alta umidade e precipitação, típicas dos meses de começo e fim do verão, a preferência por altas temperaturas também sustenta estes resultados.

A avaliação das covariáveis ligadas às armadilhas é de fundamental importância pois são elas que vão orientar as políticas de prevenção ao vetor. Os resultados mostraram que é clara a preferência do vetor por residências, onde o abastecimento de água é diário, ou seja, que existe disponibilidade de água abundante. Desta forma, tais residências devem ser o foco de campanhas para combater o mosquito.

Alguns resultados como a presença de recipientes grandes sem tampa, indicado como um fator protetor, não eram esperados. Este resultado pode indicar que existe algum tipo de competição entre estes recipientes e as ovitrampas, fazendo com que o mosquito prefira colocar os ovos em tanques, caixas d'água, ou toneis sem tampa, diminuindo assim a ocorrência de ovos nas ovitrampas.

A significância do efeito espacial é muito importante, pois além de melhorar o ajuste do modelo estatístico permite verificar através de uma superfície onde estão as localizações de maior ocorrência de ovos. Isto é importante na prática, pois através de tais mapas as agências locais de saúde podem melhor direcionar suas ações de combate ao vetor.

O fato deste efeito ser significativo também indica que podem haver outras covariáveis não levadas em consideração neste trabalho que devem ser importantes para explicar a resposta. Tais covariáveis teriam padrão espacial de distribuição na área e o efeito destas covariáveis omissas são então refletidos pela significância do efeito espacial.

O ajuste do efeito temporal permite identificar os meses do ano de maior ocorrência de ovos, além de indicar possíveis efeitos sazonais e verificar a tendência de crescimento ou decréscimo da série. Os resultados mostram que durante o período em estudo, ocorreram quatro picos, que ocorrem em geral em meses quentes, aparentemente no início e término do verão, aparece claramente que os meses mais frios, são também os de menor ocorrência de mosquitos.

De forma geral pode-se concluir que o modelo escolhido apresenta um ajuste satisfatório, nenhuma quebra de pressupostos foi detectada, e portanto as conclusões são válidas. O fato dos dados serem provenientes de um experimento real, onde o nível de controle sobre os diversos fatores que podem afetar a variável resposta é relativamente baixo, este estudo deve ser encarado como um experimento *screening* ou exploratório, que busca evidências de quais seriam os possíveis fatores que estão influenciando na resposta.

Deixa-se aqui como agendas para pesquisas futuras relacionadas a este experimento, investigar o ajuste de um modelo assumindo para a variável resposta uma distribuição Binomial Negativa ou Poisson inflacionada de zeros. Também é recomendável uma aproximação da equipe de modelagem estatística com profissionais da área entomológica, preferencialmente profissionais da biologia.



Recomenda-se uma análise detalhada das observações de cada uma das armadilhas junto a equipe de campo, para se identificar possíveis erros de digitação ou de natureza não aleatória, bem como a revisão dos resultados mediante diferentes tratamentos de dados atípicos e influentes.

## Agradecimentos

Os autores agradecem as equipes de campo e laboratório da Secretaria de Saúde do Recife/CVA e CPqAM/Fiocruz pelo intenso trabalho que produziu os dados aqui utilizados. Agradecemos também à toda equipe do projeto SAUDAVEL (<http://saudavel.dpi.inpe.br>), em particular ao Coordenador Dr Antônio Miguel Vieira Monteiro e à equipe do SAUDAVEL-Recife coordenada pela Dra Lêda Régis, a Wayner Vieira de Souza e a José Constantino Silveira pela troca de informações e por disponibilizar os dados e recursos utilizados neste trabalho. Este trabalho foi realizado com o apoio e recursos do LEG/UFPR.

BONAT, W. H. ; DALLAZUANNA, H. S. ; RIBEIRO Jr., P. J., Investigando fatores associados a ocorrência de ovos do mosquito *aedes aegypti* coletados em ovitrampas em Recife/PE. *Rev. Mat. Estat.*, São Paulo, v.xx, n.x, p.xx-xx, 2000. *Rev. Mat. Estat.* (São Paulo), v. 20, n.1, p. 1-10, 2000.

■ **ABSTRACT:** O *Aedes aegypti* é o vetor da dengue, doença que pode resultar em epidemias. Estudos entomológicos são importantes, pois ajudam a entender a dinâmica de proliferação do mosquito. Este artigo tem como objetivo identificar fatores associados a contagens de ovos de *Aedes aegypti* a partir de dados coletados em um experimento de campo conduzido pelo projeto SAUDAVEL, na cidade de Recife/PE. Os principais resultados mostram q preferência do mosquito por residências, onde o abastecimento é constante. Um efeito de competição das armadilhas, com recientes como tanques, caixas d'água e tonéis. A partir de covariáveis climáticas foi possível identificar a preferência do vetor por alta precipitação e umidade, além de que, é importante a dinâmica da precipitação em até dois meses antes da observação. As características espaço-temporais do experimento foram levadas em consideração na modelagem através de funções suaves das coordenadas geográficas das armadilhas e das datas de coleta. Nessa abordagem utilizou-se a metodologia de modelos aditivos generalizados, que permitiu, através do termo espacial do modelo, a identificação de áreas onde as contagens de ovos são elevadas. O termo temporal permitiu identificar os meses do ano de maior abundância, além de efeitos sazonais e a tendência da série.

■ **KEYWORDS:** Digite as palavras-chave em inglês.

## Referências

- BRAGA, I. A.; VALLE, D. *Aedes aegypti: vigilância, monitoramento da resistência e alternativas de controle no Brasil*. Revista Brasileira de Epidemiologia, v.16(4), p.295-302, 2007.
- BONAT, W. H. ; DALLAZUANNA, H. S. ; RIBEIRO Jr, P. J. *RDengue um ambiente para monitoramento de ovos do mosquito Aedes aegypti*. In: X Simpósio Brasileiro de Geoinformática, 2008.
- CONNOR, M. E. ; MONROE, W. M. *Stegomyia indices and their value in yellow fever control*. American Journal of tropical Medicine and Hygiene, v.3 , p.9-19, 1923.
- FAY, R. W. ; ELIASON, D. A. *Laboratory studies of ovipositional preferences of Aedes aegypti*. Mosquito News, v.25, p.270-281, 1965.
- FAY, R. W. ; ELIASON, D. A. *A preferred ovoposition site as a surveillance method for Aedes aegypti*. Mosquito News, v.26, p.531-534, 1966.
- FERREIRA, A. C. ; CHIARAVALLIOTI, F. *Infestação de área urbana por Aedes aegypti e relação com níveis socioeconômicos*. Revista de Saúde Pública, v.41(6), p.15-22, 2007.
- FOCKS, D. A. *A review of entomological sampling methods and indicators for dengue vectors*. Monografia na internet, 2000.
- FUNASA *Fundação Nacional de Saúde*. Dengue - instruções para o pessoal de combate ao vetor, manual de normas técnicas, 2001.
- GOMES, A. C. *Medidas dos níveis de infestação urbana para aedes (stegomyia) aegypti e aedes (stegomyia) albopictus em programa de vigilância entomológica*. Informe epidemiológico do SUS, v.11(2), p. 79-90, 2002.
- HASTIE, T. J. ; TIBISHIRANI, R. J. *Generalized additive models*. London: Chapman and Hall, 1990.
- MONTEIRO, A. M. ; CARVALHO, M. S. ; ASSUNÇÃO, R. W. ; RIBEIRO Jr, P. J. ; VIEIRA, W. ; DAVIS, C. ; REGIS, L. *SAUDAVEL: Bridging the Gap between Research and Service in Public Health Operational Programs by Multi - Institutional Networking Development and use of Spatial Information Technology Innovative Tools*. COLOCAR A REVISTA, 2006.
- NELSON, M. *The significance of indicators and indices*. Ctd/fil(den)/ic, 1995.
- OPS *Organizacion Panamericana de la Salud* Dengue y dengue hemorrágico en las Américas: guías para su prevención y control, 1995.
- PAULA, G. A. *Modelos de regressão com apoio computacional*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.
- R Development Core Team. 2009. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- REGIS, L. ; MONTEIRO, A. M. ; MELO SANTOS, M. A. ; SILVEIRA, J. C. ; FURTADO, A. F. ; ACIOLI, R. V. ; SANTOS, G. M. ; NAKASAWA, M.

- ; CARVALHO, M. S. ; RIBEIRO Jr, P. J. ; SOUZA, G. M. *Developing new approaches for detecting and preventing Aedes aegypti population outbreaks: bases for surveillance, alert and control system*. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, v.103 , p.50-59, 2008.
- REGIS, L. ; MONTEIRO, A. M. ; MELO SANTOS, M. A. ; SILVEIRA, J. C. ; FURTADO, A. F. ; ACIOLI, R. V. ; SANTOS, G. M. ; NAKASAWA, M. ; CARVALHO, M. S. ; RIBEIRO Jr, P. J. ; SOUZA, G. M. . Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, v.103 , p.50-59, 2008.
- SANTOS, R. S. *Fatores associados à ocorrência de formas imaturas de Aedes aegypti na Ilha do Governador, Rio de Janeiro, Brasil*. Revista da Sociedade Brasileira de medicina Tropical, v.32(4), p.373-382, 1999.
- SERPA, L. L. N. ; COSTA, K. V. ; VOLTOLINI, J. C. ; KAKITANI, I. *Variação sazonal de Aedes aegypti e Aedes albopictus no município de Potim, São Paulo*. Revista de Saúde Pública, v.40(6) , p.1101-1105, 2007.
- TAUIL, P. L. *Aspectos críticos do controle do dengue no Brasil*. Cadernos de Saúde Pública, v.18, p.867-871, 2002.
- WOOD, S. N. *Generalized additive models: Introduction with R*. Boca Raton: Chapman and Hall, 2006.
- WOOD, S. N. *GAMs with GCV smoothness estimation and GAMMs by REML/PQL*. R package version 1.3-31, 2008.
- YANG, M. H. ; THOMÉ, R. C. *Controle ótimo do mosquito Aedes aegypti via técnica de insetos estéreis*. Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, 2007.

Recebido em XX.XX.XXXX.

Aprovado após revisão em XX.XX.XXXX.